

## 1. INTRODUCCIÓ

La gran diversitat d'activitats que inclou sector tèxtil (rentatge i pentinada de la llana i el pèl, preparació i filada de fibres, fabricació de teixits tèxtils, ...), juntament amb la diversitat i combinacions de fibres existents, amb els requisits de manipulació que cadascuna exigeix i la constant variació de la demanda exercida pels mercats, sotmesos als dictàmens de la moda, fan que el sector tèxtil sigui un sector dinàmic i de gran interès, però també de gran complexitat i que evoluciona constantment.

Pel que fa a la gestió mediambiental de les empreses dels subsectors de tintura, acabats i estampació, val a dir que la pressió exercida des de la societat i l'Administració i la incorporació de criteris ambientals en la gestió empresarial han estat creixent durant els últims anys i això ha comportat importants inversions, ja sigui en sistemes per prevenir o per controlar la contaminació. Pel que fa als costos relacionats amb la gestió ambiental, i a excepció dels costos de tractar les aigües residuals en origen, que poden variar de forma significativa segons el tipus de tractament, es pot considerar que els més importants són els corresponents a taxes sobre consum i abocament d'aigua i els corresponents a la gestió de residus.

Generalment, en el procés tèxtil es consumeixen 160 Kg d'aigua per Kg de producte acabat i el procés d'acabat genera efluents que contenen quantitats significatives d'un ampli ventall de residus. Quasi tot el volum d'aigua utilitzat és abocat perquè les pèrdues són mínimes. En percentatge, el volum d'efluents representa un 90-95% de l'aigua utilitzada.

Les aigües residuals procedents de les indústries tèxtils presenten un greu problema a causa de DBO, SS, elevada temperatura i la forta coloració que presenten. De tots ells, l'eliminació d'aquesta última és el principal problema. El color pot causar certs efectes ambientals negatius: fort impacte visual en els rius i poden limitar la transferència de la llum a través de l'aigua. La coloració de les aigües residuals és deguda a la naturalesa química dels colorants utilitzats per teñir els teixits. La composició dels efluents abocats és molt variable dificultant-ne el tractament posterior. Les EDARs no sempre poden eliminar el color de l'aigua. Per això, sovint, s'ha d'afegir algun tipus de tractament que redueixi el color, fet que suposa un encariment en el procés de depuració. És el tractament amb carbó actiu el que presenta una eficàcia més gran en l'eliminació del color. És una tècnica de baixa inversió inicial en equips, de disseny simple, fàcil d'operar i insensible a les substàncies tòxiques. Però el cost que suposa el carbó actiu ha portat a cercar materials de baix cost que puguin adsorbir aquests compostos: farines vegetals i animals, sorra, carbó d'ús domèstic, serradures, determinats residus vegetals i resines; i altres processos de depuració biològica.

L'adsorció en carbó actiu es pot dur a terme de forma continua o bé discontinua. L'operació discontinua es duu a terme en un tanc agitat on es manté en contacte la dissolució amb una determinada quantitat de carbó. Les operacions en continu normalment es realitzen en columnes reblides de carbó actiu granular (GAC).

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar la capacitat d'adsorció del colorant comercial Gris Lanaset G en carbó actiu granular (GAC), per assolir aquest objectiu es compara l'eficàcia d'adsorció d'aquest carbó respecte altres adsorbents i l'eficàcia d'eliminació d'un altre colorant més simple sobre aquest carbó.

## 2. MATERIALS I MÈTODES

En els experiments en discontinu i en continu amb carbó actiu, s'utilitza GAC amb ref. CAL FE03204C de Chemviron Carbon subministrat per Aguas de Levante S.A. Els colorants tèxtils utilitzats són el Gris Lanaset G i l'Orange G. La concentració de colorant es determina mitjançant un mètode espectrofotomètric.

Els experiments en discontinu permeten determinar l'equilibri per a diferents proporcions de colorant/adsorbent i ajustar les dades experimentals a una isoterma adsorció. En un vas de precipitat amb un agitador magnètic es posen en contacte la solució de colorant i una determinada quantitat de carbó actiu i es prenen mostres de la solució al llarg del temps. Els experiments es realitzaren a temperatura controlada, 25°C, dins d'una cambra termostatitzada.

Els estudis en continu es realitzaren en dues columnes diferents, una de 30 cm d'alçada i 2,1 cm de diàmetre a l'interior de la qual es trobava empaquetat el GAC, la circulació de la solució amb colorant tèxtil té lloc en sentit descendent i impulsada per una bomba peristàtica. La segona de 21 cm d'alçada i de 1,8 cm de diàmetre, treballa amb el flux pel pas de la columna en sentit ascendent. L'efluent de la columna es recull en un col·lector de fraccions de les que es llegeix l'absorbància, per posteriorment relacionar amb la concentració de colorant.

El quocient entre el volum de la columna i el cabal és el temps de contacte (EBCT). El percentatge d'eliminació del colorant es calcula restant la concentració de l'efluent de la columna de la concentració inicial de colorant i dividint per la mateixa concentració inicial.

Els experiments s'aturen quan s'assoleix el 70% d'eliminació, s'escull aquest valor perquè correspon a l'eliminació requerida per a que l'efluent pugui ser admès en una EDAR en cas de requerir tractament addicional.

## 3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

### Resultats dels experiments en discontinu

Un dels paràmetres importants per estudiar la capacitat d'adsorció del GAC és el temps de contacte amb el colorant tèxtil necessari per arribar a l'equilibri del sistema.

La taula 3.1 mostra un resum dels diferents experiments en discontinu realitzats. El temps necessari per assolir el 25% d'eliminació del colorant de la solució original varia en funció de la concentració de carbó actiu. Com major és la concentració de carbó actiu, el temps per assolir aquest nivell d'eliminació és menor ja que hi ha més superfície a la qual el colorant es pot adsorbir.

Els experiments es deixen en marxa durant un temps llarg per a determinar la concentració en equilibri i així poder ajustar les isoterms d'adsorció. Els experiments s'aturen quan s'observa que el nivell d'eliminació es manté estable o constant. L'adsorció d'aquests experiments s'aproxima més a la isoterma de Langmuir que a la de Freundlich. Les constants per a l'isoterma de Langmuir són  $b=26,04$  mg d'adsorbat per g d'adsorbent i  $k=0,017$  cm<sup>3</sup> d'adsorbent per mg d'adsorbat, el coeficient de regressió és de 0,9536.

# Estudi del procés d'adsorció en carbó actiu granular per eliminar colorants tèxtils

Pilar Ruiz de Lira Jiménez

18 de setembre de 2006

**Taula 3.1.** Dades resumides dels diferents experiments realitzats en discontinu amb colorant Gris Lanaset G.

Concentració de carbó actiu (g/l)	Concentració de colorant Gris Lanaset G (mg/l)	Ce (mg/l)	Temps per assolir Ce (h)	% d'eliminació	Temps per assolir el 25% d'eliminació de colorant (min)
0,823	147,179	110,817	46	25,38	2620
1,010	150,517	101,478	44	43,51	1410
1,516	153,537	60,070	66	60,88	990
2,006	150,993	65,980	44	65,27	150
3,060	154,014	40,359	64	74,83	150
4,010	146,543	31,617	45	82,11	120
4,990	150,517	22,314	44	85,18	70
4,020	101,081	14,767	42	89,95	75
4,000	195,502	55,301	42	72,85	130
6,051	150,835	21,125	45	85,99	90
7,019	150,199	28,366	47	62,23	80

Al laboratori d'Enginyeria Química de la Universitat Autònoma de Barcelona s'han realitzat diferents estudis d'aquest colorant sobre altres adsorbents, això permet fer una comparació de la capacitat d'adsorció d'aquests adsorbents respecte el carbó. Els adsorbents utilitzats són els següents:

- Biomassa inactivada en forma de pèl·lets del fang *Trametes versicolor* (Aretxaga, 1998).

El procés d'adsorció mitjançant pèl·lets també s'ajusta a l'isoterma de Langmuir, i els resultats corroboren que el carbó actiu té més capacitat d'adsorció, adsorbeix 4,2 vegades més mg d'adsorbat per unitat de g d'adsorbent presents a la solució. La concentració en equilibri però, arriba a nivells semblants de concentració de colorant.

- Carbó Actiu Granular amb referència, FE 02131 C de Chemviron Carbon (Font, 2003).

Amb aquest adsorbent es va trobar que la concentració de colorant a la solució no acaba d'estabilitzar-se, sempre hi ha una petita adsorció del colorant. Això s'atribueix al fet de que degut a l'agitació el carbó actiu es trenca, augmentant la superfície d'adsorció. Per tant, es pràcticament impossible determinar la concentració en equilibri de colorant en solució, es desestima determinar les isoterms d'adsorció. En els experiments duts a terme per l'Anna Font es troba que la disminució del color té lloc de forma més acusada al començament dels experiments. El fet de que el carbó actiu es trenqui i per tant augmenti la superfície específica comporta que tingui més poder d'adsorció a la llarga, assoleix un % d'eliminació major amb la mateixa concentració de colorant i adsorbent.

L'altre colorant tèxtil estudiat és l'Orange G d'estructura coneguda, més simple i pur. La taula 3.2 mostra les dades resumides dels diferents experiments realitzats en discontinu per aquest colorant. Es pot observar el poder d'adsorció d'aquest carbó actiu granular davant el colorant Orange G, pràcticament tots els experiments realitzats arriben al 100% d'eliminació del colorant i, a més, assoleixen aquesta eliminació en un temps molt curt. Com major és la concentració de carbó actiu, el temps per assolir un % d'eliminació determinat és menor. L'adsorció d'aquests experiments s'aproxima més a la isoterma de Langmuir que a la de Freundlich, igual que a l'altre colorant, això es degut a que Langmuir

suposa que el màxim nivell d'adsorció es dona en una monocapa saturada de molècules d'adsorbat sobre la superfície de l'adsorbent. L'adsorció amb carbó actiu sobre el colorant Orange G és més potent, ja que adsorbeix més mg d'adsorbat per unitat de g d'adsorbent presents a la solució que no pas amb el colorant tèxtil Gris Lanaset G.

**Taula 3.2.** Dades resumides dels diferents experiments realitzats en discontinu amb colorant Orange G.

Concentració de carbó actiu (g/l)	Concentració de colorant Orange G (mg/l)	Ce (mg/l)	Temps per assolir Ce (min)	% d'eliminació	Temps per assolir el 25% d'eliminació de colorant (min)
1,004	32,267	3,253	160	89,92	15
2,004	30,720	0,000	125	100,00	6
3,007	30,720	1,653	96	94,62	5
2,002	88,720	7,920	300	98,47	12
3,002	89,200	0,000	300	100,00	9
1,008	166,160	74,720	8755	74,72	1350
2,004	166,400	41,760	1545	74,90	240
3,005	137,840	4,320	365	96,87	10
2,003	72,800	3,680	365	94,95	17

## Resultats dels experiments en continu

A l'hora d'escollir el temps de contacte de cadascuna de les columnes es segueixen les recomanacions de la casa comercial que subministra el GAC. Aquestes indiquen que el temps de contacte entre la solució a tractar i el carbó actiu ha d'oscil·lar entre el 60 i 240 minuts. Degut a les característiques del colorant Gris Lanaset G es decideix fer passar la solució de colorant a una velocitat més lenta que la que recomana el fabricant, 1/15 part la velocitat més lenta especificada a la fitxa tècnica. La velocitat és, doncs, de 0,05 m/h o el doble, el cabal corresponent de cada experiment es mostra a la taula 3.3

Els diferents experiments realitzats amb el flux en sentit descendent de l'influent pel pas de la columna es recullen a la taula 3.3.

L'operació en continu, a diferència de l'operació en discontinu, permet una major automatització i per tant, requereix menys presència física de la persona que supervisa el procés. Tan mateix, com més temps es manté en marxa el procés, la probabilitat de que tingui lloc algun incident augmenta. La durada dels experiments en continu realitzats en aquest projecte és molt llarga, per tant, les incidències a les que es va fer front varen ser varies i es destaquen a continuació ja que són les responsables de la repetició de diferents experiments i les que fan variar els objectius establerts i fan plantejar solucions i respostes ràpides per a poder continuar amb l'anàlisi.

- Error en el càlcul de la solució influent, provoca l'esgotament d'aquest i com a conseqüència els porus entre els grànuls de carbó queden plens d'aire i per tant és irrecuperable.
- El flux descendent de la solució afavoreix la compactació del carbó actiu granular, junt amb l'efecte de la microfiltració que es comenta posteriorment, provoca un augment de la pressió

al capçal de la columna i com a conseqüència salta el tap.

- Aparició de bombolles d'aire en algun tram de la columna que distorsiona el flux i disminueix molt la capacitat d'adsorció del carbó. Es proposa mantenir el carbó amb aigua destil·lada durant un temps i eliminar les bombolles en la fase de la posada en marxa.
- El carbó actiu utilitzat necessita un cabal petit per millorar el temps de contacte amb la solució, això provoca que la bomba treballi molt lentament, el que ocasiona un escalfament d'aquesta, es va tenir que canviar de bomba.
- Trencament del tub que estreny la bomba degut a la fricció, aquesta és tan elevada que després d'un cert temps el tub no resisteix més i es trenca. Els tubs es canvien cada cert temps, el material de tots és el tygon.

Els experiments en deixen en marxa durant un temps llarg, fins i tot un mes, per a construir la corba de ruptura. El problema és que en cap experiment s'arriba al 70% d'eliminació i, per tant, no es pot construir la corba ruptura, el carbó actiu encara té poder d'adsorció després d'un mes en marxa.

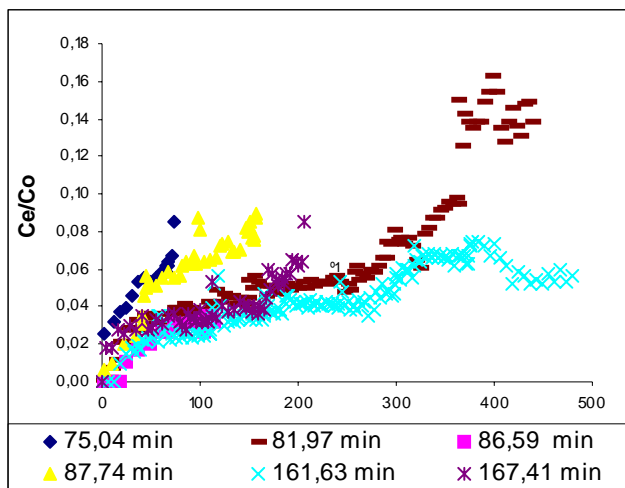
En general la concentració de l'efluent augmenta més ràpidament als primers minuts.

**Taula 3.3.** Característiques de les columnes d'adsorció.

EBCT (min)	Alçada carbó actiu en columna (cm)	Volum ocupat pel carbó actiu (cm <sup>3</sup> )	Massa de carbó actiu (g)	Cabal bomba (ml/min)
75,04	6,5	22,51	11,0	0,3
81,97	14,2	49,18	22,6	0,6
86,59	7,5	25,98	22,6	0,3
87,74	7,6	26,32	22,6	0,3
161,63	14	48,49	22,6	0,3
167,41	14,5	50,22	22,6	0,3

La figura 3.1 recull els diferents experiments en columna realitzats en sentit descendent. El 70% d'eliminació quedaria marcat en una línia on  $C_e/C_0$  és igual 0,3.

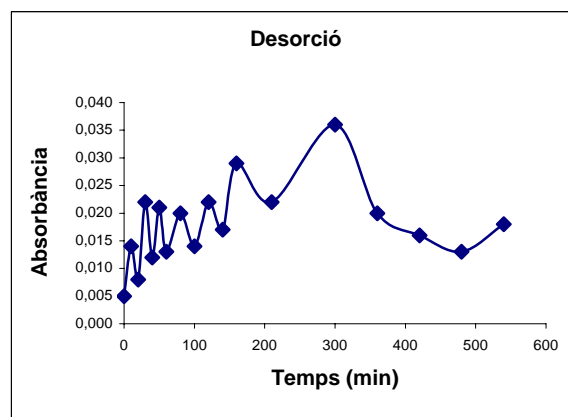
Com es pot observar en la figura 3.1, a menor EBCT, la columna assoleix un % d'eliminació determinat més ràpidament i, per tant, el volum tractat per gram de carbó actiu és menor. Aquest comportament no és pas lineal sinó que la relació entre la concentració de l'efluent i la concentració inicial augmenta ràpidament en les primeres fraccions recollides, per establitzar-se posteriorment. Aquest fet ha de permetre establir unes condicions que seran un compromís entre el temps de contacte i la capacitat de tractament. Això s'haurà de traduir en un cost mínim.



**Figura 3.1.** Recull dels diferents experiments en columna realitzats en sentit descendent a diferent EBCT.

Concloure doncs, que doblant el cabal amb les mateixes condicions de treball s'aconsegueix tractar 6 vegades més de solució de colorant tèxtil.

El fet de que no s'assoleixi el 70% d'eliminació en cap experiment es planteja la possibilitat de que a més del procés d'adsorció es doni lloc a un procés de microfiltració per part del carbó actiu. Per corroborar aquest fet s'ha de donar que els mg de colorants retinguts han de ser igual als mg retinguts per adsorció més els mg retinguts per microfiltració. Aquests càlcul es realitza per l'experiment amb un EBCT de 81,97 minuts. Els mg retinguts per assolir un 90% d'eliminació, ja que el 70% no s'assoleix, són de 1.321 mg. Els retinguts per adsorció es calculen a partir de l'isoterma de Langmuir, i pren el valor de 132 mg. Per últim, cal calcular els mg retinguts per microfiltració, cal agitar el carbó actiu saturat de la columna amb aigua destil·lada durant un temps per mesurar l'absorbància d'aquesta solució i, per tant, es sap que els mg adsorbts per microfiltració són 19 mg, valor baix. Es planteja la possibilitat de que si hi ha microfiltració, però que el colorant queda retingut a la superfície del carbó actiu. Per comprovar aquest fet cal estudiar la reversibilitat del procés d'adsorció.



**Figura 3.2** Procés de desorció per a una solució de 146 mg/l amb 4 g/l de carbó actiu.

## Estudi del procés d'adsorció en carbó actiu granular per eliminar colorants tèxtils

Pilar Ruiz de Lira Jiménez

18 de setembre de 2006

Un augment d'aquesta absorbència significa que una petita part del colorant adsorbit torna a la fase aquosa, cosa que significaria que l'adsorció d'aquest sistema és pràcticament irreversible. S'escull la solució de 4 g/l de carbó i 150 ppm de colorant. A la figura 3.2 es pot comprovar que existeix una mínima reversibilitat del procés d'adsorció, insignificant, ja que la màxima absorbència correspon a una concentració de la solució de 1,4 mg/l, és a dir, el 99,03% del colorant es troba retintut sobre la superfície del carbó.

Per evitar la microfiltració es realitza un experiment en sentit ascendent del flux. La concentració de colorant a la sortida de la columna pren un valor de 45 mg/l, s'aconsegueix eliminar el 70% del colorant de la solució inicial.

Després d'haver assolit l'objectiu es planteja fer altre experiment en sentit ascendent però disminuint el cabal a la meitat, 0,3 ml/min. Al disminuir el cabal, el temps de contacte entre solut i adsorbent augmenta, això comporta una major capacitat d'adsorció del carbó actiu. Com és d'imaginar, el temps per assolir un % d'eliminació determinar és major, el que comporta que en aquest cas no s'assoleixi el 70% d'eliminació, com a molt arriba al 90%.

### Avaluació econòmica

L'avaluació econòmica del procés d'adsorció es fa en base als resultats obtinguts en els experiments realitzats amb columnes de carbó actiu. Es treballa amb diferents columnes que operen en continu, però l'avaluació econòmica es fa per als dos experiments en sentit ascendent de l'influent pel pas de la columna. L'avaluació econòmica que es porta a terme es compara amb els resultats obtinguts en el projecte de l'Anna Font, per aquest motiu s'escullen aquests dos experiments en sentit ascendent ja que assoleixen un 90% d'eliminació de colorant a l'efluent de sortida, i és la condició a partir de la qual fa l'avaluació econòmica l'Anna Font.

A l'avaluació s'ha tingut en compte el cost del carbó actiu, el cost de l'energia necessària pel funcionament del procés i la disposició final del carbó actiu. El cost total del procés d'adsorció per volum d'aigua per a cada disposició final queda recollit a la taula 3.4.

**Taula 3.4.** Cost total del procés d'adsorció amb carbó actiu per volum d'aigua tractada.

EBCT (min)	Cost per volum d'aigua tractada (€/m <sup>3</sup> )		
	Regeneració	Valorització	Abocador
38,17	1028,31	1006,91	995,19
76,34	726,98	717,58	712,44

El que es pot observar és que a major temps de contacte, el cost per volum d'aigua tractada disminueix. Com menor sigui el temps de residència, la columna més ràpidament arriba al punt de ruptura i, per tant, més sovint s'ha de fer la seva regeneració.

La disposició final del carbó no difereix massa en el cost total del procés, encara que l'abocador sigui el tractament més barat. Això es deu a que la disposició final

del carbó actiu té molt poc pes en el còmput total del cost del procés. El que més encareix el procés en les columnes amb les quals es treballa és el cost de l'energia, més del 90% del cost total.

Aquesta avaluació econòmica es compara amb la duta a terme per l'Anna Font, el cost total i les característiques dels dos adsorbents queden recollides a la taula 3.5

**Taula 3.5.** Resum de les característiques dels dos adsorbents i el cost total.

	Carbó actiu utilitzat al present projecte	Carbó actiu utilitzat per l'Anna Font
<b>Temps de residència (min)</b>	38,17	21,53
<b>Concentració de colorant (mg/l)</b>	150	150
<b>Temps de ruptura (h)</b>	27	14,10
<b>Cost del carbó actiu (€/m<sup>3</sup>)</b>	37,57	29,99
<b>Cost de l'energia consumida (€/m<sup>3</sup>)</b>	956,79	745,59(*)
<b>Cost de la disposició final (valorització) (€/m<sup>3</sup>)</b>	12,55	11,21
<b>Cost total (€/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1006,91</b>	<b>786,79</b>

Inicialment es pensa que el carbó utilitzat en aquest projecte té un cost total del procés d'adsorció inferior a d'altres adsorbents, degut a la seva elevada capacitat d'adsorció. Però, l'avaluació econòmica contradiu la idea inicial. El factor determinant d'aquest increment en el cost total es deu a la diferencia en el cost d'energia, 211 €/m<sup>3</sup>, provocat per l'elevat temps que està en marxa l'experiment per assolir el temps de ruptura.

Aquestes dues columnes tenen les mateixes característiques, excepte el cabal, el de l'Anna Font és el doble, 1,30 ml/min, això suposa que tracta més volum d'aigua però que assoleix el % d'eliminació més ràpid. Això comporta que el temps de ruptura sigui inferior, per tant, el cost de l'energia consumida és menor.

El cost d'energia consumida encareix el procés total d'adsorció, per aconseguir-ne una reducció cal estudiar alternatives principalment pel sistema de bombeig.

L'avantatge principal del carbó actiu utilitzat en aquest projecte és la disposició final, ja que surt a compte regenerar-ho, en comptes de comprar nou, o donar-li altre disposició, com és un abocador o una valorització. Així s'eviten els problemes d'abocaments de carbons saturats.

### BIBLIOGRAFIA

- Aretxaga A. 1998. Estudi del procés d'adsorció amb microorganismes per eliminar color en aigües residuals. Bellaterra, Projecte Fi de Carrera de Ciències Ambientals.
- Font A. 2003. Avaluació econòmica i ambiental del tractament fisicoquímic i biològic d'efluents tèxtils. Bellaterra, Projecte Fi de Carrera de Ciències Ambientals.
- Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. 2002. Prevenció de la contaminació en la tintura, estampació i acabats tèxtils. Manuals d'ecogestió; 10. Barcelona, Biblioteca de Catalunya.